

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-315725

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

F 0 2 B 37/013  
37/16  
37/18

識別記号

F I

F 0 2 B 37/00

37/12

3 0 1 B

3 0 3 E

3 0 1 E

3 0 1 K

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平10-121312

(22) 出願日

平成10年(1998)4月30日

(71) 出願人 000005348

富士重工業株式会社

東京都新宿区西新宿一丁目7番2号

(72) 発明者 加 茂 圭 介

東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士  
重工業株式会社内

(72) 発明者 村 田 巖

東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士  
重工業株式会社内

(72) 発明者 糸 長 達 也

東京都新宿区西新宿一丁目7番2号 富士  
重工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

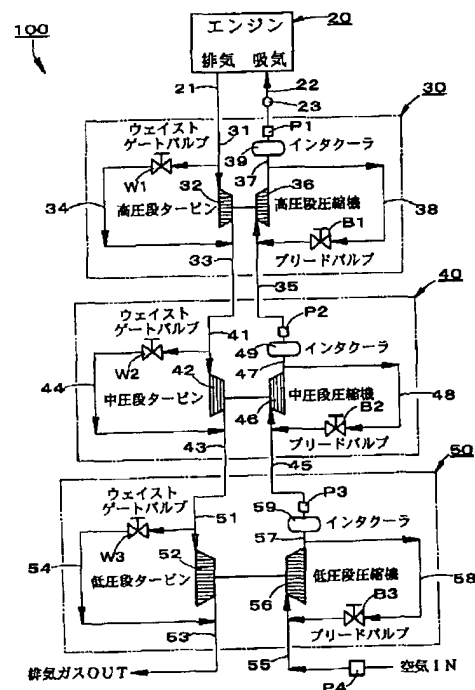
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レシプロエンジン用多段過給システム

(57) 【要約】

【課題】 高空域を長時間にわたって飛行可能な航空機に用いて好適なレシプロエンジン用多段過給システムを提供する。

【解決手段】 本発明のレシプロエンジン用多段過給システム100は、互いに直列に接続された複数段の過給器と、これらの過給器の作動を制御する制御手段とを備える。各段の過給器は、タービンを迂回するタービン側バイパス路と、圧縮機を迂回する圧縮機側バイパス路と、タービン側バイパス路を流れる排気の流量を制御するウェイストゲートバルブと、圧縮機側バイパス路を流れる吸気の流量を制御するブリードバルブと、圧縮機の下流側に配置された圧力センサとをそれぞれ有する。そして、前記制御手段は、前記圧力センサからの信号を受けて各バルブを制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】航空機用レシプロエンジンに昇圧させた吸気を供給するための多段過給システムであって、互いに直列に接続された複数段の過給器と、これらの過給器の作動を制御する制御手段とを備え、

各段の前記過給器は、

前記レシプロエンジンからの排気を受けて回転するタービンと、このタービンによって駆動されて前記レシプロエンジンに供給する吸気を昇圧させる圧縮機と、

前記排気を前記タービンを迂回させて上流側から下流側に直接供給するタービン側バイパス路と、

前記圧縮機で昇圧させた吸気を前記圧縮機を迂回させて前記圧縮機の下流側から上流側に戻す圧縮機側バイパス路と、

前記タービン側バイパス路を流れる前記排気の流量を制御するウェイストゲートバルブと、

前記圧縮機側バイパス路を流れる前記吸気の流量を制御するブリードバルブと、

前記ウェイストゲートバルブおよび前記ブリードバルブをそれぞれ作動させるバルブ作動手段と、

前記圧縮機の下流側に配置された圧力センサとをそれぞれ有し、

かつ前記制御手段は、

前記圧力センサからの信号を受けて前記バルブ作動手段の作動を制御し、各段の前記過給器の作動を制御することを特徴とするレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 2】前記制御手段は、ある段の前記圧力センサから得られた圧力値がその段における所定値に達したときに、その段の前記バルブ作動手段を操作して前記タービン側バイパス路および前記圧縮機側バイパス路を開じ、その段の前記タービンおよび前記圧縮機を作動させることを特徴とする請求項 1 に記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 3】予め設定された飛行高度における各段の過給器の圧縮機の上流側と下流側における吸気の圧力の比がそれぞれ等しくなるように、各段毎の前記所定値を定めることを特徴とする請求項 2 に記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 4】前記制御手段は、各段の前記圧力センサから得られた圧力値の単位時間あたりの増加率が所定の値を越えたときに、前記ブリードバルブを開いてその段の圧縮機で昇圧させた前記吸気の一部を前記圧縮機側バイパス路を介してその段の前記圧縮機の上流側に戻すことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 5】前記ウェイストゲートバルブは、その開度と前記タービン側バイパス路を流れる前記排気の量とを比例させる制御が可能な弁体を有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 6】前記ブリードバルブは、その開度と前記圧縮機側バイパス路を流れる前記吸気の量とを比例させる制御が可能な弁体を有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 7】前記バルブ作動手段は、エンジン潤滑油の圧力を用いて前記ウェイストゲートバルブおよび前記ブリードバルブを作動させることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 8】前記圧力センサが、絶対圧力を検出することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

【請求項 9】前記圧縮機が遠心圧縮機であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載のレシプロエンジン用多段過給システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は航空機用レシプロエンジンの多段過給システムに関し、より詳しくは、高度 25 Km 以上の高空域を長時間にわたって飛行可能な航空機のレシプロエンジンに用いる多段過給システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、地球の大気の挙動を調査する等の各種の研究のために、高度 25 km 以上の高空域を長時間にわたって飛行可能な航空機の開発が進められている。このような航空機に用いる推進システムとしては、ジェットエンジンおよび多段過給機付きレシプロエンジンが挙げられるが、これらは次のような特徴を有している。

【0003】ジェットエンジンには多段構造の軸流圧縮機が使用されているが、この軸流圧縮機は、高度の上昇により圧縮機翼列のレイノルズ数が低下すると剥離が生じる。そして、この剥離が後段側の圧縮機翼列に影響し、圧縮機効率の低下を招く。高度とレイノルズ数との関係を示した図 8 から明らかなように、軸流圧縮機の臨界レイノルズ数は  $Re = 50000$  で、その高度は約 20 km となる。これにより、より高度の高い領域を飛行すると圧縮機が正常に作動しなくなってしまう。また、ジェットエンジンは燃料消費率が高いため、ジェットエンジンによる高空域の長時間飛行は困難となる。

【0004】一方、圧縮機には軸流圧縮機、遠心圧縮機、斜流圧縮機があるが、これらの圧縮機におけるレイノルズ数低下に伴う剥離の特性は以下の通りである。すなわち、

①軸流圧縮機は多段構造であるため、前段の剥離が後段に影響する。

②遠心圧縮機のインペラーに生じた剥離は、遠心力により再付着する。

③斜流圧縮機は遠心圧縮機と同等の特性を示す。

したがって、レイノルズ数の影響による圧縮機効率を勘案すると、高度 25 km 以上の高空域を飛行する航空機の推進システムには、遠心圧縮機若しくは斜流圧縮機を用いなければならないことが判る。

【0005】レシプロエンジンにおいては、高度上昇に伴う空気密度の低下よりエンジン出力が低下する。そこで、過給器を用いてエンジン吸気を地上における大気圧と同等の圧力まで昇圧させることにより、エンジンの出力を確保できる。また、レシプロエンジンは燃料消費率が小さいため、限られた燃料搭載量で長時間にわたる飛行が可能となる。

【0006】ところで、図 9 に示したように、既存の過給器における圧力比の最大値は、船舶用で約 4.5 : 1 程度である。これにより、このような過給器を 1 段のみ備えたレシプロエンジンにおいては、地上と同等なエンジン出力が得られる飛行高度は、大気圧が地上の約 1/4.5 となる高度約 11 km が限界となる。また、この過給器を 2 段組み合わせたレシプロエンジンについて検討すると、到達可能な飛行高度は、大気圧が地上大気圧の  $1/(4.5 \times 4.5) = 1/20$  となる高度約 21 km が限界となる。したがって、高度 25 km 以上の高空域の飛行を可能とするためには、3 段以上の過給器をレシプロエンジンに組み合わせる必要がある。

【0007】次に、高々度領域の飛行を可能とする 3 段過給器付きレシプロエンジンに関する諸外国における技術動向について説明する。

【0008】まず最初に、高度 24 km までの到達飛行実績を有するドイツ製航空機 STRATO 2 C に搭載された、GROB 社製の 3 段過給器付きレシプロエンジンについて説明する。図 10 に示したように、このエンジンの過給器は、高圧段過給機 1 および 2 軸の低・中圧段過給機 2, 3 から構成され、高度 7 km より低い高度域を飛行する場合には高圧段過給機 1 のみを使用するが、高度 7 km より高い高度域を飛行する場合には、高圧段過給機 1 および低・中圧段過給機 2, 3 のすべてを駆動させて過給圧を供給する。

【0009】また、NASA が進めている ERAST (Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) プログラムにおいては、高度約 25 km における飛行を目標として、3 段過給器付きレシプロエンジンの開発研究が進められている。図 11 に示したように、このエンジンにおける過給機の高、中、低圧段の各タービン 11, 12, 13 は、1 つの配管 14 によってつながっている。これにより、エンジンの排気エネルギーは高、中、低圧段の各タービン 11, 12, 13 のすべてを駆動し、高、中、低圧段の各圧縮機 15, 16, 17 を駆動させて過給するようにしている。そして、必要以上の過給圧が得られる場合には、エンジンのスロットル 18 およびウェイトゲートバルブ 19 を操作することに

より過給圧を制御するものと考えられる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した GROB 社製の 3 段過給器付きレシプロエンジンにおいては、高圧段過給機 1 が、エンジンの排気エネルギーを排気ウェイトゲートバルブ 4 を介して排気管 5 にバイパスさせるとともに、高圧段圧縮機によって得られた過給圧を高圧段ブリードバルブ 6 を介して排気管 7 にバイパスさせることにより過給圧を制御している。このように、圧縮機によって得られた過給圧を排気管にバイパスさせることにより、すなわち過給圧を排気管に捨てることにより制御するということは、圧縮機が必要以上の仕事をを行っていることとなり、システム効率の低い制御方式となっている。

【0011】また低・中圧段過給機 2, 3 においては、高圧段過給機 1 のタービン出口から低・中圧段タービンまでが 1 つの配管 8 でつながっているため、高圧段タービンの排気エネルギーにより低・中圧段のタービンが同時に駆動される。これにより、低・中圧段の圧縮機が過給の必要の有無に係わらず常に駆動されるため、駆動損失が大きい。さらに、低・中圧段の圧縮機から得られる必要以上の過給圧は、高圧段過給器と同様に、低圧段ブリードバルブ 9 L および中圧段ブリードバルブ 9 I によって排気管にバイパスさせるようになっており、システム効率が低くなっている。

【0012】一方、上述した NASA の 3 段過給器付きレシプロエンジンにおいては、タービン側の配管 14 が 1 つにつながっているため、エンジンの排気エネルギーが高・中・低圧段の各タービン 11, 12, 13 を常に駆動している。これにより、低・中・高圧段の各圧縮機 15, 16, 17 が常に作動するため、駆動損失が大きい。

【0013】また、低高度領域においては 3 段全ての過給機を作動させる必要性はない。しかしながら、このシステムは 3 段全ての過給機を常に駆動しているため、低高度領域において必要となる過給圧を各段の過給機で分担することになる。これにより、飛行高度に応じて各段の圧縮機を効率の良い領域で使用することができず、システム全体の効率を低下させる。

【0014】さらに、このシステムにおいては各タービンが運動して駆動されるため、タービンおよび圧縮機の応答に時間遅れが生じる。これにより、突風等の影響による急激な圧力変動がエンジンの吸・排気に生じた場合、応答の時間遅れに起因してエンジンの作動不安定となり、制御が困難になる可能性もある。

【0015】そこで、本発明の目的は、上述した従来技術が有する問題点を解消し、高度 25 km 以上の高空域を長時間にわたって飛行可能な航空機に用いて好適なレシプロエンジン用多段過給システムを提供することにある。

## 【0016】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決する本発明は、航空機用レシプロエンジンに昇圧させた吸気を供給するための多段過給システムであって、互いに直列に接続された複数段の過給器と、これらの過給器の作動を制御する制御手段とを備える。また、各段の前記過給器は、前記レシプロエンジンからの排気を受けて回転するタービンと、このタービンによって駆動されて前記レシプロエンジンに供給する吸気を昇圧させる圧縮機と、前記排気を前記タービンを迂回させて上流側から下流側に直接供給するタービン側バイパス路と、前記圧縮機で昇圧させた吸気を前記圧縮機を迂回させて前記圧縮機の下流側から上流側に戻す圧縮機側バイパス路と、前記タービン側バイパス路を流れる前記排気の流量を制御するウェイトゲートバルブと、前記圧縮機側バイパス路を流れる前記吸気の流量を制御するブリードバルブと、前記ウェイトゲートバルブおよび前記ブリードバルブをそれぞれ作動させるバルブ作動手段と、前記圧縮機の下流側に配置された圧力センサとをそれぞれ有する。そして、前記制御手段は、前記圧力センサからの信号を受けて前記バルブ作動手段の作動を制御し、各段の前記過給器の作動を制御する。

【0017】好ましくは、前記制御手段は、ある段の前記圧力センサから得られた圧力値がその段における所定値に達したときに、その段の前記バルブ作動手段を操作して前記タービン側バイパス路および前記圧縮機側バイパス路を閉じ、その段の前記タービンおよび前記圧縮機を作動させる。なお、予め設定した飛行高度における各段の過給器の圧縮機の上流側と下流側における吸気圧力の比がそれぞれ等しくなるように、各段毎の前記所定値

を定めることができる。

【0018】また、前記制御手段は、各段の前記圧力センサから得られた圧力値の単位時間あたりの増加率が所定の値を越えたときに、前記ブリードバルブを開いてその段の圧縮機で昇圧させた前記吸気の一部を前記圧縮機側バイパス路を介してその段の前記圧縮機の上流側に戻す。

【0019】前記ウェイトゲートバルブは、その開度と前記タービン側バイパス路を流れる前記排気の量とを比例させる制御が可能な弁体を有する。同様に、前記ブ

リードバルブは、その開度と前記圧縮機側バイパス路を流れる前記吸気の量とを比例させる制御が可能な弁体を有する。

【0020】前記バルブ作動手段は、エンジン潤滑油の圧力を用いて前記ウェイトゲートバルブおよび前記ブ

リードバルブを作動させるようにすることができる。

【0021】前記圧力センサは、絶対圧力を検出する。また、前記圧縮機を遠心圧縮機とする。

【0022】すなわち、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムは、各段の過給器のウェイトゲートバ

ルブおよびブリードバルブを個別に制御することにより、各段の過給機を個別に、他の段の過給器に依存することなく作動させることができる。これにより、既存のシステムのように複数段の過給器の全てを常に作動させる必要がないから、駆動損失を低減させてエンジンの燃料消費率を低下させることができる。

【0023】また、ある段の圧力センサから得られた圧力値がその段における所定値に達したときに、その段のウェイトゲートバルブおよびブリードバルブを制御してその段のタービンおよび圧縮機を作動させることができる。これにより、航空機の飛行高度に対応させて各段の過給機をそれぞれ最も効率の良い領域で作動させ、システム全体の効率を向上させることができる。

【0024】また、各段毎に設定する前記所定値の値を適切に定めれば、各段の過給器の圧縮機の上流側と下流側における吸気圧力の比を、予め設定した飛行高度においてそれぞれ等しくすることができる。これにより、エンジン吸気を昇圧させる圧縮仕事を圧縮過程 P V 線図の等温線に接近させて行わせることができるから、圧縮仕事の仕事を低減させて、システム全体の効率を向上させることができる。

【0025】また、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムにおいては、圧縮機で昇圧させた吸気の一部を取り出してエンジンに供給しない場合にも、取り出した吸気をその圧縮機の上流側に戻す。これにより、圧縮機で昇圧させた吸気を排気通路に捨てる従来のシステムとは異なり、圧縮機に必要な以上の仕事をさせる必要がないため、システム全体の効率を向上させることができる。

【0026】また、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムは、各段の圧縮機の下流側から上流側に吸気を戻す圧縮機側バイパス路にブリードバルブを有している。これにより、飛行中に遭遇した突風等の影響によりエンジン吸気圧に急激な変動が生じた場合には、タービン側バイパス路に設けたウェイトゲートバルブと圧縮機側バイパス路に設けたブリードバルブとを連動させることにより、エンジンに供給する吸気の圧力制御の不安定さを低減させ、エンジンの作動を迅速に安定させることができる。

## 【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る一実施形態のレシプロエンジン用多段過給システムを、図 1 乃至図 7 を参照して詳細に説明する。ここで、図 1 は本発明に係る一実施形態のレシプロエンジン用多段過給システムの構成を示す模式図、図 2 は図 1 中に示したウェイトゲートバルブおよびブリードバルブの作動を説明する模式図、図 3 は各段の過給器の圧力比を等しくした場合の圧縮過程 P V 線図、図 4 は各段の過給器の圧力比を不均等とした場合の圧縮過程 P V 線図、図 5 は図 1 中に示した高圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図、図

6は図1中に示した中圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図、図7は図1中に示した低圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図である。

【0028】図1に示したように、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム100は、航空機用エンジン20に供給する吸気を昇圧させる高圧段過給器30、中圧段過給器40、低圧段過給器50からなる3段の過給器と、これらの過給器にそれぞれ設けられたウェイトゲートバルブW1、W2、W3およびブリードバルブB1、B2、B3と、各段の過給器の圧縮機出口側にそれぞれ設けられた圧力センサP1、P2、P3と、これらの圧力センサが検出した圧力値に基づいて前記バルブの作動を制御する図示されない制御手段を備えている。

【0029】前記高圧段過給器30は、前記エンジン20の排気管21からの排気を受け入れる排気導入管31と、受け入れた排気によって駆動される高圧段タービン32と、この高圧段タービン32から排気を排出する排気管33とを有している。また、この高圧段過給器30は、排気導入管31に受け入れた排気を高圧段タービン32を迂回させて下流側の排気管33に直接供給するタービン側バイパス路34を有している。そして、このタービン側バイパス路34の途中には、このタービン側バイパス路34を流れる排気の流量を制御するウェイトゲートバルブW1が設けられている。

【0030】さらに、この高圧段過給器30は、前記中圧段過給器40から吸気を受け入れる吸気導入管35と、高圧段タービン32によって駆動されて前記吸気導入管35を介して受け入れた吸気を昇圧させる高圧段圧縮機36と、この高圧段圧縮機36によって昇圧された吸気をエンジン20の吸気管22に供給する吸気供給管37とを有している。また、この高圧段過給器30は、高圧段圧縮機36によって昇圧された吸気を前記吸気供給管37内から取り出して上流側の吸気導入管35に戻す圧縮機側バイパス路38を有している。そして、この圧縮機側バイパス路38の途中には、この圧縮機側バイパス路38を流れる吸気の流量を制御するブリードバルブB1が設けられている。さらに、前記吸気供給管37には、エンジン20に供給する吸気を冷却するインタークーラー39が設けられている。

【0031】また、前記ウェイトゲートバルブW1および前記ブリードバルブB1は、図2に示したように、エンジン20の潤滑油圧力によって作動するアクチュエータW11およびB11と、これらのアクチュエータW11、B11が開閉動作する弁体W12およびB12をそれぞれ有している。なお、アクチュエータの作動源として別に発生させた油圧や電気サーボモータを用いることもできる。そして、前記弁体W12およびB12の作動によって、ウェイトゲートバルブW1およびブリードバルブB1の開度と、前記タービン側バイパス路34

を流れる排気の流量および前記圧縮機側バイパス路38を流れる吸気の流量とがそれぞれ比例するようになって

【0032】前記中圧段過給器40は、高圧段過給器30の排気管33から排出される排気を受け入れる排気導入管41と、受け入れた排気によって駆動される中圧段タービン42と、このタービンから排気を排出する排気管43とを有している。また、この中圧段過給器40は、排気導入管41に受け入れた排気を中圧段タービン42を迂回させて下流側の排気管43に直接供給するタービン側バイパス路44を有している。そして、このタービン側バイパス路44の途中には、このタービン側バイパス路44を流れる排気の流量を制御するウェイトゲートバルブW2が設けられている。

【0033】さらに、この中圧段過給器40は、前記低圧段過給器50から吸気を受け入れる吸気導入管45と、中圧段タービン42によって駆動されて前記吸気導入管45を介して受け入れた吸気を昇圧させる中圧段圧縮機46と、この中圧段圧縮機46によって昇圧された吸気を高圧段過給器30の吸気導入管35に供給する吸気供給管47とを有している。また、この中圧段過給器40は、中圧段圧縮機46によって昇圧された吸気を前記吸気供給管47内から取り出して上流側の吸気導入管45に戻す、圧縮機側バイパス路48を有している。そして、この圧縮機側バイパス路48の途中には、この圧縮機側バイパス路48を流れる吸気の流量を制御するブリードバルブB2が設けられている。さらに、前記吸気供給管47には、高圧段過給器30の吸気導入管35に供給する吸気を冷却するインタークーラー49が設けられている。

【0034】また、前記ウェイトゲートバルブW2および前記ブリードバルブB2は、前述した高圧段過給器30のウェイトゲートバルブW1およびブリードバルブB1と同様の構造を有し、その開度と、タービン側バイパス路44を流れる排気の流量および圧縮機側バイパス路48を流れる吸気の流量とが比例するようになって

【0035】前記低圧段過給器50は、中圧段過給器40の排気管43から排出される排気を受け入れる排気導入管51と、受け入れた排気によって駆動される低圧段タービン52と、このタービンから排気を排出する排気管53とを有している。また、この低圧段過給器50は、排気導入管51に受け入れた排気を低圧段タービン52を迂回させて下流側の排気管53に直接供給するタービン側バイパス路54を有している。そして、このタービン側バイパス路54の途中には、このタービン側バイパス路54を流れる排気の流量を制御するウェイトゲートバルブW3が設けられている。

【0036】さらに、この低圧段過給器50は、大気を受け入れる大気導入管55と、低圧段タービン52によ

って駆動されて前記大気導入管 55 を介して受け入れた大気を昇圧させる低圧段圧縮機 56 と、この低圧段圧縮機 56 によって昇圧された吸気を中圧段過給器 40 の吸気導入管 45 に供給する吸気供給管 57 とを有している。また、この低圧段過給器 50 は、低圧段圧縮機 56 によって昇圧された吸気を吸気供給管 57 内から取り出して上流側の大気導入管 55 に戻す圧縮機側バイパス路 58 を有している。そして、この圧縮機側バイパス路 58 の途中には、この圧縮機側バイパス路 58 を流れる吸気の流量を制御するブリードバルブ B3 が設けられている。

【0037】また、前記ウェイストゲートバルブ W3 および前記ブリードバルブ B3 は、前述した高圧段過給器 30 のウェイストゲートバルブ W1 およびブリードバルブ B1 と同様の構造を有し、その開度と、タービン側バイパス路 54 を流れる排気の流量および圧縮機側バイパス路 58 を流れる吸気の流量とが比例するようになっている。

【0038】すなわち、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 においては、各圧縮機 36、46、56 で昇圧させた吸気の一部を取り出してエンジンに供給しない場合にも、取り出した吸気をその圧縮機 36、46、56 の上流側に戻す。これにより、圧縮機で昇圧させた吸気を排気通路に捨てる従来のシステムとは異なり、圧縮機に必要な以上の仕事をさせる必要がないため、システム全体の効率を向上させることができる。

【0039】また、前記圧力センサ P1、P2、P3 は、それぞれ各段の過給器 30、40、50 の吸気供給管 37、47、57 内の吸気の圧力を検出する。さらに、低圧段過給器 50 の前記大気導入管 55 内の大気の圧力を検出するために、圧力センサ S4 が設けられている。

【0040】一方、マイクロコンピュータから構成される前記制御手段は、各段のウェイストゲートバルブ W1、W2、W3 およびブリードバルブ B1、B2、B3 の開閉を個別に制御し、各段のタービン 32、42、52 および圧縮機 36、46、56 を、他の段の過給器に依存することなく個別に制御する。これにより、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 は、既存のシステムのように複数段の過給器の全てを常に作動させる必要がないため、駆動損失を低減させてエンジンの燃料消費率を低下させることができる。

【0041】また、前記制御手段は、前記センサ P1、P2、P3 によって検出された圧力が各段毎に設定した所定値に達したときに初めて、各段のタービン 32、42、52 および圧縮機 36、46、56 を個別に作動させる。これにより、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 は、航空機の飛行高度に応じて、各段の過給機をそれぞれ最も効率が良い領域で作動させ、システム全体の効率を向上させることができる。

【0042】また、各段毎に設定する前記所定値の値を適切に定めれば、各段の過給器の圧縮機の上流側および下流側における吸気の圧力比を、予め設定した飛行高度においてそれぞれ等しくすることができる。すると、各段の過給器 30、40、50 が吸気を昇圧させる圧縮仕事は、図 3 に示した圧縮過程 P-V 線図において「1→A→B→C→D→E→2」の経路で行われる。これに対して、各段の過給器の圧力比が等しくない場合には、各段の過給器 30、40、50 が吸気を昇圧させる圧縮仕事は、図 4 に示した圧縮過程 P-V 線図において「1→a→b→c→d→e→2」の経路で行われることになり、斜線を付した領域の面積が大きいため仕事量が多くなってしまふ。すなわち、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 によれば、エンジンの吸気を昇圧させる圧縮仕事の仕事量を低減させて、システム全体の効率を向上させることができる。

【0043】また、制御手段は、センサ P1、P2、P3 によって検出された圧力の単位時間あたりの変化率が急激に増加すると、ブリードバルブ B1、B2、B3 の開度を調節し、各段の圧縮機 36、46、56 の下流側から上流側に昇圧した吸気の一部を戻す。これにより、飛行中に遭遇した突風等の影響によりエンジン吸気圧に急激な変動が生じた場合でも、各ウェイストゲートバルブ W1、W2、W3 と各ブリードバルブ B1、B2、B3 とを連動させることにより、エンジンに供給する吸気の圧力の不安定さを低減し、エンジンの作動を迅速に安定させることができる。

【0044】次に、上述のように構成された本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 の作動制御について、図 5 乃至図 7 に示したフローチャートを参照し、航空機が離陸して上昇する場合を例に取って説明する。

【0045】離陸時には、ステップ（以下 S と表す）1 において、高圧段過給器 30 のウェイストゲートバルブ W1 およびブリードバルブ B1 のみを閉じ、中圧段過給器 40 および低圧段過給器 50 のウェイストゲートバルブ W2、W3 およびブリードバルブ B2、B3 は開いておく。これにより、高圧段過給器 30 のみが作動し、中圧段過給器 40 および低圧段過給器 50 は作動しない。

【0046】エンジンが全開にされると、エンジン 20 からの排気はその全量が高圧段過給器 30 タービン 32 を通って排出される。しかしながら、高圧段過給器 30 は所定の高度に達して初めて高効率の圧力比が得られる設定なので、離陸時における圧縮効率が悪く、エンジン 20 に供給される吸気は殆ど昇圧されない。

【0047】離陸して高度が増加し大気圧が徐々に下がると、高圧段タービン 32 の上流側と下流側との圧力差が広がってタービン 32 の回転数が増加するので、高圧段圧縮機 36 が作動する。これにより、エンジン 20 の吸気管 22 に供給される吸気圧は地上の大気圧と等しく

なる。なお、高度の増加に伴って高圧段圧縮機 3 6 に流入する大気の流れも低下するが、高圧段タービン 3 2 の回転数の増加によって十分な昇圧が可能である。

【0048】S 2 において、高圧段過給器 3 0 からエンジン 2 0 の吸気管 2 2 に供給する吸気の流れ P 1 を、センサ P 1 を用いて絶えずチェックしながら上昇を続ける。このとき、P 1 の値が所定値 P 1 0 を越えた場合には、S 3 に進んで P 1 の値の単位時間当たりの変化率を計算する。そして、この変化率が上昇中に遭遇した突風等に起因して所定の値 d 1 0 を越えた場合には S 4 に進み、高圧段過給器 3 0 のブリードバルブ B 1 を開く。すると、高圧段圧縮機 3 6 によって昇圧した吸気の一部が吸気供給管 3 7 から取り出され、高圧段圧縮機 3 6 の上流側である吸気導入管 3 5 に戻されるので、エンジン 2 0 に供給する吸気の流れ P 1 を低下させることができる。そして、S 5 において P 1 の値の単位時間当たりの変化率が所定の値 d 1 1 より小さい値に転じたことが確認されると、S 6 に進んでブリードバルブ B 1 を閉じその後ウェイトゲートバルブ W 1 を開き、高圧段タービン 3 2 の回転数を制御する。

【0049】なお、P 1 の値が急激にはないが所定値 P 1 0 を越えた場合には、S 7 に進んでウェイトゲートバルブ W 1 を開き、高圧段タービン 3 2 の回転数を制御する。これにより、高圧段圧縮機 3 6 からエンジン 2 0 に供給する吸気の流れを低下させる。そして S 8 において、エンジン 2 0 に供給する吸気の流れ P 1 が、所定値 P 1 1 から P 1 0 の範囲内にあるか否かを絶えずチェックする。

【0050】同時に、S 9 において、中圧段過給器 4 0 から高圧段過給器 3 0 に供給される吸気の流れをセンサ P 2 を用いて絶えずチェックする。そして、P 2 の値が所定値 P 2 0 を下回っている間は、上述した S 3 ~ S 9 のループを反復する。

【0051】一方、S 9 において、中圧段過給器 4 0 から高圧段過給器 3 0 に供給される吸気の流れ P 2 が所定値 P 2 0 を下回ったことが確認されたときは、中圧段過給器 4 0 を用いた過給が必要になった場合、すなわち図 3 に示した圧縮過程 P V 線図における D 点に達した場合であるから、図 6 のフローチャートに示した制御を開始する。

【0052】すなわち、航空機が上昇して高圧段過給器 3 0 に供給される吸気の流れが所定値 P 2 0 を下回ると、S 1 0 において中圧段過給器 4 0 のウェイトゲートバルブ W 2 およびブリードバルブ B 2 を閉じる。これにより、高圧段タービン 3 2 から排出された排気の全量が中圧段タービン 4 2 に流入するとともに、中圧段圧縮機 4 6 によって昇圧された吸気的全量が高圧段圧縮機 3 6 に流入するようになる。

【0053】ウェイトゲートバルブ W 2 およびブリードバルブ B 2 を閉じた直後は、中圧段圧縮機 4 6 による

吸気の流れの昇圧度合いは低い、航空機がさらに上昇するに連れて中圧段タービン 4 2 の上流側と下流側との差圧が拡大し、中圧段タービン 4 2 の回転数が増加するので、中圧段圧縮機 4 6 による吸気の流れの昇圧度合いも高まる。

【0054】中圧段過給器 4 0 の S 1 1 ~ S 1 7 における動作は、高圧段過給器 3 0 の S 2 ~ S 8 における動作と同一であるから説明を省略する。そして、S 1 8 において、中圧段過給器 4 0 に供給される大気の流れ P 3 が所定値 P 3 0 を上回っていることが確認される場合には、S 3 ~ S 1 8 のループを反復する。これに対して、中圧段過給器 4 0 に供給される大気の流れ P 3 が所定値 P 3 0 を下回ったことが確認されたときには、低圧段過給器 5 0 を用いた過給が必要になった場合、すなわち図 3 に示した圧縮過程 P V 線図における B 点に達した場合であるから、図 7 のフローチャートに示した制御を開始する。

【0055】すなわち、航空機が上昇して中圧段過給器 4 0 に供給される吸気の流れが所定値 P 3 0 を下回ると、S 1 9 において低圧段過給器 5 0 のウェイトゲートバルブ W 3 およびブリードバルブ B 3 を閉じる。これにより、中圧段タービン 4 2 から排出された排気の全量が低圧段タービン 5 2 に流入するとともに、低圧段圧縮機 5 6 によって昇圧された吸気的全量が中圧段圧縮機 4 6 に流入するようになる。

【0056】ウェイトゲートバルブ W 3 およびブリードバルブ B 3 を閉じた直後は、低圧段圧縮機 5 6 による吸気の流れの昇圧度合いは低い、航空機がさらに上昇するに連れて低圧段タービン 5 2 の上流側と下流側との差圧が拡大し、低圧段タービン 5 2 の回転数が増加するので、低圧段圧縮機 5 6 による吸気の流れの昇圧度合いも高まる。

【0057】低圧段過給器 5 0 の S 2 0 ~ S 2 6 における動作は、高圧段過給器 3 0 の S 2 ~ S 8 における動作と同一であるから説明を省略する。そして S 2 6 において、低圧段過給器 5 0 から中圧段過給器 4 0 に供給される昇圧された吸気の流れ P 3 が P 3 1 ~ P 3 0 の範囲内にあることが確認されたときには、S 3 ~ S 2 6 のループを反復する。

【0058】なお、低圧段圧縮機 5 0 に流入する大気の流れ P 4 の値を絶えずチェックすることにより、航空機が所定高度にまで上昇したか否かを確認することができる。そして、所定高度に達した後はスロットルバルブの開度を調整し、エンジン 2 0 の出力を調整して飛行高度の制御を行う。なお、スロットルバルブ 2 3 は、応答性を良くするために高圧段過給器 3 0 から昇圧された吸気を受け入れるエンジン 2 0 の吸気管 2 2 に設けられている。

【0059】また、上述した説明中における各所定値、すなわち P 1 0, P 1 1, d 1 0, d 1 1, P 2 0, P 2 1, d 2 0, d 2 1, P 3 0, P 3 1, d 3 0, d 3 1 の各値は、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給

システム 100 を効率よく作動させるために、スロットルバルブ 23 の開度に応じた値に設定される。

【0060】航空機の降下は、高度をチェックしながらスロットル開度を調整して行う。このとき、所定の高度になれば自然に圧縮も行われなくなるので、ウェイトゲートバルブやブリードバルブは開放しなくてもよい。

【0061】また、前述したように、所定高度での巡航状態 25 km においては、各段の圧縮機 36、46、56 の上流側と下流側との吸気圧力の比は等しい。したがって、本実施形態のレシプロエンジン用多段過給システム 100 を用いて高度 25 km まで上昇する場合には、一段当たり約 3.42 の圧縮比が得られれば地上の大気圧と等しい圧力の吸気をエンジン 20 に供給することができるが、この約 3.42 という一段当たりの圧縮比は、現在の技術で十分達成可能な値である。

【0062】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムは、各段の過給器のウェイトゲートバルブおよびブリードバルブを個別に制御することにより、各段の過給機を個別に、他の段の過給器に依存することなく作動させることができる。これにより、既存のシステムのように複数段の過給器の全てを常に作動させる必要がないから、駆動損失を低減させてエンジンの燃料消費率を低下させることができる。

【0063】また、ある段の圧力センサから得られた圧力値がその段における所定値に達したときに、その段のウェイトゲートバルブおよびブリードバルブを制御してその段のタービンおよび圧縮機を作動させることができる。これにより、航空機の飛行高度に対応させて各段の過給機をそれぞれ最も効率の良い領域で作動させ、システム全体の効率を向上させることができる。

【0064】また、各段毎に設定する前記所定値の値を適切に定めれば、各段の過給器の圧縮機の上流側および下流側における吸気の圧力比を、予め設定した飛行高度においてそれぞれ等しくすることができる。これにより、エンジン吸気を昇圧させる圧縮仕事を圧縮過程 P V 線図の等温線に接近させて行わせることができるから、圧縮仕事の仕事を低減させて、システム全体の効率を向上させることができる。

【0065】また、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムにおいては、圧縮機で昇圧させた吸気の一部を取り出してエンジンに供給しない場合にも、取り出した吸気をその圧縮機の上流側に戻す。これにより、圧縮機で昇圧させた吸気を排気通路に捨てる従来のシステムとは異なり、圧縮機に必要な以上の仕事をさせる必要がないから、システム全体の効率を向上させることができる。

【0066】また、本発明のレシプロエンジン用多段過給システムは、各段の圧縮機の下流側から上流側に吸気

を戻す圧縮機側バイパス路にブリードバルブを有している。これにより、飛行中に遭遇した突風等の影響によりエンジン吸気圧に急激な変動が生じた場合には、タービン側バイパス路に設けたウェイトゲートバルブと圧縮機側バイパス路に設けたブリードバルブとを連動させることにより、エンジンに供給する吸気の圧力制御の不安定さを低減させ、エンジンの作動を迅速に安定させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る一実施形態のレシプロエンジン用多段過給システムの構成を示す模式図。

【図 2】図 1 中に示したウェイトゲートバルブおよびブリードバルブの作動を説明する模式図。

【図 3】各段の過給器の圧力比を等しくした場合の圧縮過程 P V 線図。

【図 4】各段の過給器の圧力比を不均等とした場合の圧縮過程 P V 線図。

【図 5】図 1 中に示した高圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図。

【図 6】図 1 中に示した中圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図。

【図 7】図 1 中に示した低圧段の過給器の作動を説明するフローチャート図。

【図 8】高度とレイノルズ数との関係を示す線図。

【図 9】既存の過給器の圧力比を比較する線図。

【図 10】ドイツ G R O B 社製の 3 段過給器付きレシプロエンジンの模式図。

【図 11】N A S A の 3 段過給器付きレシプロエンジンの模式図。

【符号の説明】

20 レシプロエンジン

21 排気管

22 吸気管

23 スロットルバルブ

30 高圧段過給器

32 高圧段タービン

34 タービン側バイパス路

36 高圧段圧縮機

38 圧縮機側バイパス路

40 中圧段過給器

42 中圧段タービン

44 タービン側バイパス路

46 中圧段圧縮機

48 圧縮機側バイパス路

50 低圧段過給器

52 低圧段タービン

54 タービン側バイパス路

56 低圧段圧縮機

58 圧縮機側バイパス路

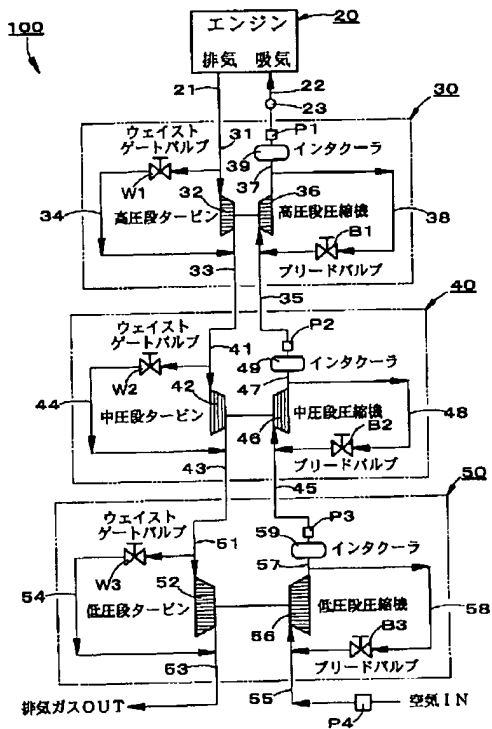
B 1, B 2, B 3 ブリードバルブ



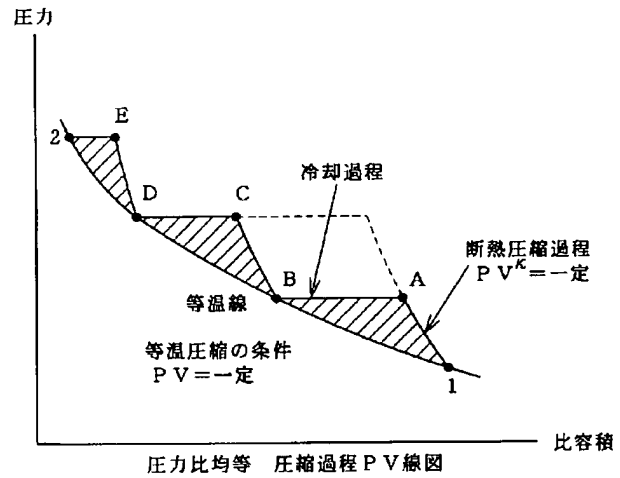
W1, W2, W3 ウェイストゲートバルブ  
100 本発明によるレシプロエンジン用多段過給シス

テム

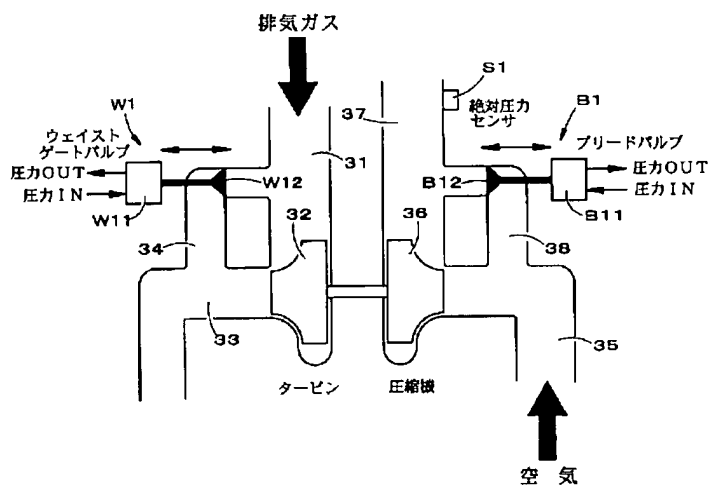
【図1】



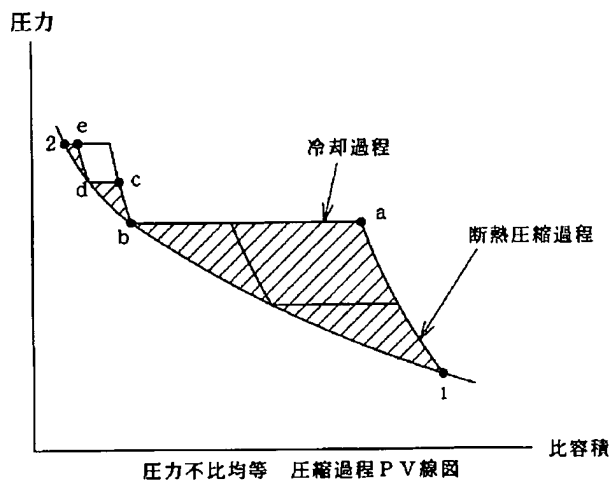
【図3】



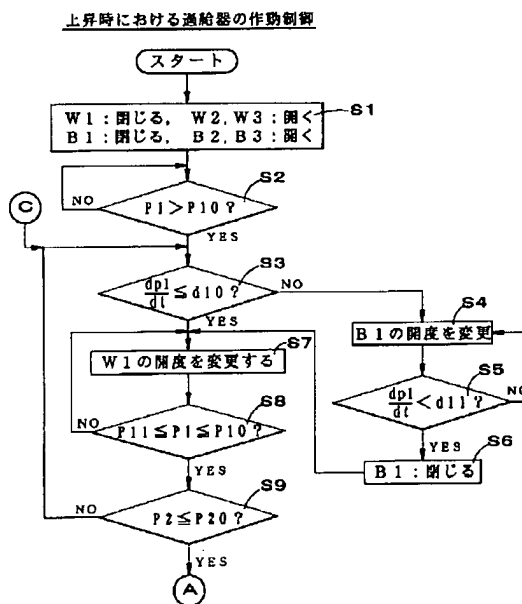
【図2】



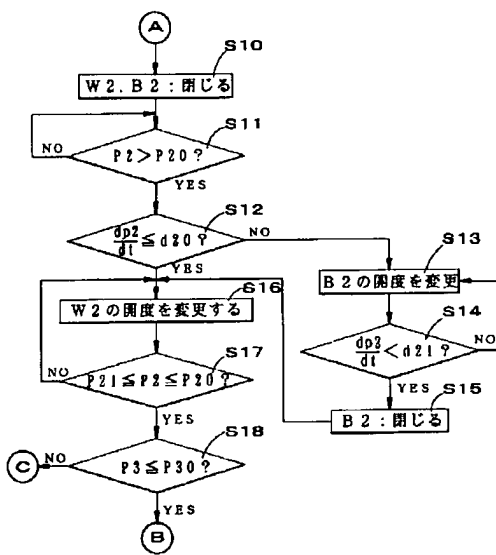
【図 4】



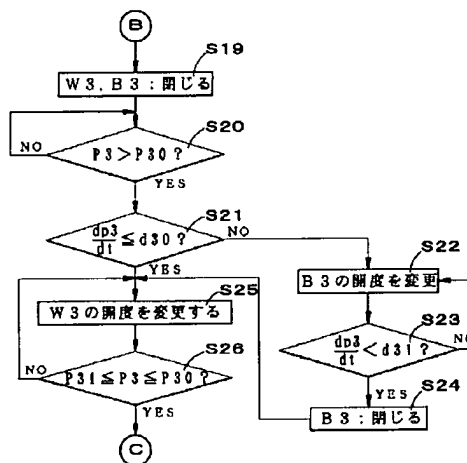
【図 5】



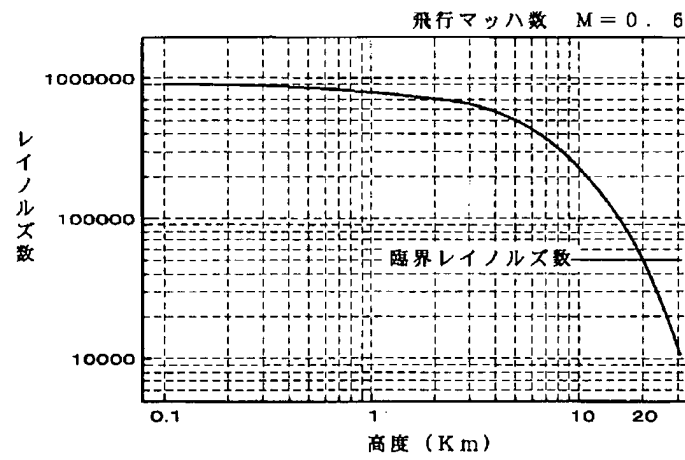
【図 6】



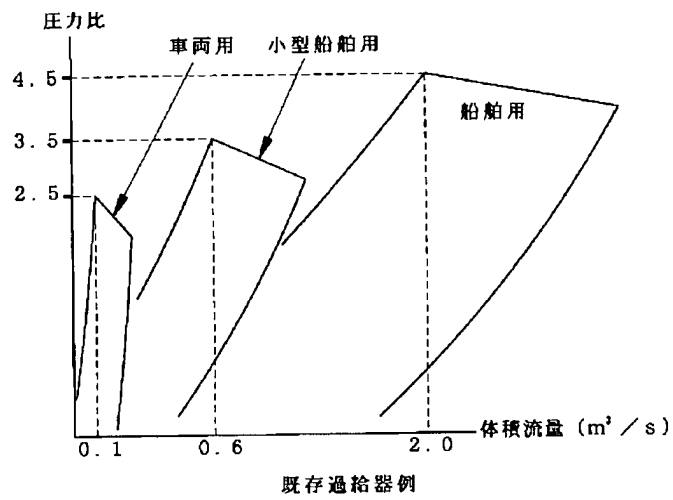
【図 7】



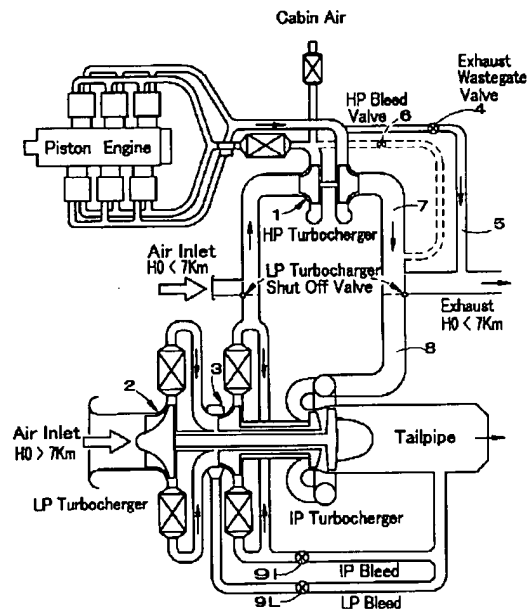
【図 8】



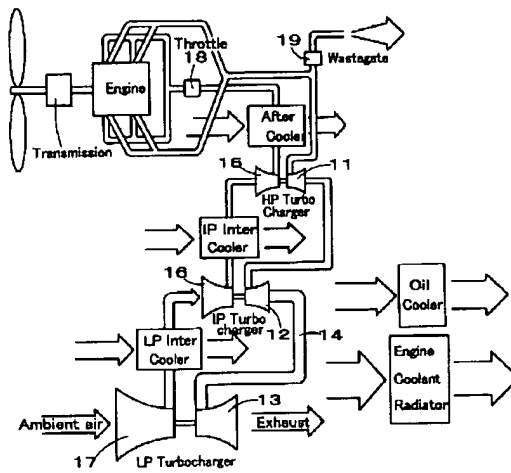
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 矢 川 昭 良  
東京都新宿区西新宿一丁目 7 番 2 号 富士  
重工業株式会社内

(72)発明者 栗 原 優  
東京都三鷹市大沢三丁目 9 番 6 号 株式会  
社スバル研究所内